

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Testování nástrojů z řezné keramiky při
přerušovaném řezu**

**Testing of Ceramic Cutting Tools at interrupted
Cut**

Student:

Michaela Rakovská

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2010

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 12.5.2010

Rakowská M.
Michaela Rakowská

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 12.5.2010Michaela Rakowská

Michaela Rakowská

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Veřovice 482, 742 73 Veřovice

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné připomínky při vypracování bakalářské práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RAKOWSKÁ, M. Testování nástrojů z řezné keramiky při přerušovaném řezu: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2010, 38 s. Vedoucí práce: Ing. Robert Čep, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá testováním životnosti břitových destiček z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu. Úvod je zaměřen na řeznou keramiku, její vlastnosti a využití. Samostatná kapitola rozvádí problematiku tepelných a mechanických rázů, které vznikají při přerušovaném soustružení. Následně je popsána metodika testování, provedení experimentálních testů a jejich vyhodnocení.

Zkoušeny byly 3 druhy řezné keramiky od výrobce KYOCERA. Destičky typu A65, A66N, KS6000 a PT600M jsme podrobili testu při dvou různých řezných rychlostech. Obráběným materiálem byla ocel 15 128 (13MoCrV6). Sledovány byly počty rázů, jejichž zhodnocení je v poslední části práce spolu s danými grafickými závislostmi a fotkami opotřebení břitové destičky.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

RAKOWSKÁ, M. Testing of Ceramic Cutting Tools at interrupted Cut: Bachelor thesis. Ostrava: VŠB Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2010, 38 p. Thesis head: Ing. Robert Čep, Ph.D.

This bachelor thesis is dealing with testing of tool life of ceramics cutting tools at interrupted cut. The basis is aimed at cuttings ceramics, their properties and uses. Chapter elaborates the problems of thermal and mechanical shocks that arise during interrupted turning. Then is describes the methodology of testing, design of experimental tests and their evaluation.

Were tested 3 types of cutting ceramics of manufacturer KYOCERA. Ceramic cutting tools type of A65, A66N, KS6000 and PT600M were subjected to the test at two different speeds. Machined material was steel 15 128 (13MoCrV6). Monitoring was shock numbers, the appreciation in the last part of thesis together with the respective graphical relations and photos of cutting insert's tool wear.

Obsah

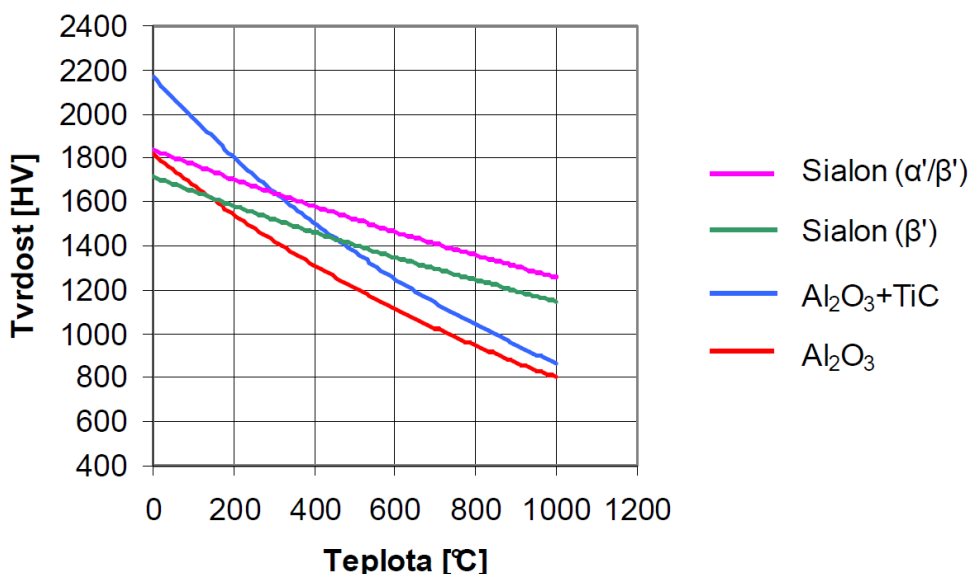
1	Úvod.....	7
2	Vliv tepelných a mechanických rázů na ostří nástroje	10
2.1	Tepelné rázy.....	11
2.2	Mechanické rázy	15
3	Metody zkoušek pro přerušovaný řez	16
3.1	Metoda podélného soustružení	16
3.2	Metoda soustružení s podélnými drážkami	18
3.3	Metoda příčného soustružení	19
4	Testování keramických břitových destiček na VŠB-TUO	20
4.1	Obráběcí stroj a simulátor přerušovaného řezu	20
4.2	Nástrojový držák.....	20
4.3	Materiál použitých lišt(obrobku)	21
4.4	Testované VBD.....	21
4.5	Řezné parametry	22
4.6	Výpočet počtu rázů	23
4.7	Vyhodnocovací zařízení	24
5	Vyhodnocení testů	25
5.1	Vyhodnocení pro VBD KS6000	25
5.1.1	Grafické vyhodnocení pro VBD KYOCERA KS 6000.....	26
5.2	Vyhodnocení pro VBD PT600M.....	27
5.2.1	Grafické vyhodnocení pro VBD KYOCERA PT600M	29
5.3	Vyhodnocení pro VBD A66N	30
5.3.1	Grafické vyhodnocení pro VBD KYOCERA A66N.....	31
5.4	Vyhodnocení pro VBD A66N	32
5.4.1	Grafické vyhodnocení pro VBD KYOCERA A65.....	34
5.5	Srovnání jednotlivých destiček.....	35
6	Závěr.....	36
	Použitá literatura	37
	Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů.....	38

1 Úvod

V poslední době je snaha analyzovat výrobní proces do všech podrobností tak, aby byly vytvořeny účelné a ekonomické podmínky pro použití nejnovějších vědních a technických poznatků ve výrobním procesu. Materiál se racionálně využívá a zlepšují se parametry výroby. Vysoce rozvíjejícím se odvětvím se stala oblast řezných materiálů. V dnešní době je nabízen široký sortiment těchto materiálů, které vedou k dokonalosti obrábění, snížení výrobních nákladů, zajištění požadované jakosti a kvality a možnost použití vyšších řezných rychlostí. Použitím nových progresivních řezných materiálů můžeme zvyšovat řezné podmínky, čímž zkrátíme strojní časy a zefektivníme obrábění.

Výzkum v této oblasti se dnes nejvíce zaměřuje na využití takových řezných materiálů, které při značné otěruvzdornosti dobře snášejí tepelné a dynamické namáhání při velkých řezných rychlostech i posuvech a zároveň si zachovávají delší trvanlivost břitů. Umožňují tak plně využít výkony obráběcích strojů při současném zkracování neproduktivních časů, způsobovaných častou výměnou nástrojů.[6]

Keramické řezné materiály jsou tvrdé, mají vysokou tvrdost za tepla a nereagují chemicky s materiálem obrobku. V případě keramiky nelze tvrdost přesně definovat jako fyzikální veličinu, protože ze všech vlastností závisí nejvíce na zkušebních podmínkách. S narůstající teplotou tvrdost keramiky klesá, což můžeme pozorovat z grafu na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1: Závislost tvrdosti na teplotě vybraných druhů řezných keramik [9]

Typickou vlastností keramiky je křehkost, poněvadž keramika není prakticky schopná plastické deformace a porušuje se křehkým lomem. Tyto řezné materiály zaručují vysokou trvanlivost břitu, nízkou houževnatost a mají nízkou tepelnou vodivost. Vybrané vlastnosti druhů řezné keramiky můžeme vidět v tabulce 1.1. [1]

K hlavním podmínkám efektivního využití řezné keramiky patří zejména vysoká tuhost systému stroj-nástroj-obrobek, použití výkonných obráběcích strojů s širokým obsahem posuvů a otáček, výborný stav obráběcího stroje, zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku, snížení náběhových hran na obrobku, výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky a mnoho dalších. [10] Jednotliví výrobci doporučují pro dané destičky řezné podmínky. Důležitým aspektem u keramických materiálů je chlazení. U některých druhů destiček tohoto materiálu se chlazení chladicí kapalinou nesmí vůbec používat.

Tabulka 1.1: Vlastnosti vybraných druhů řezné keramiky [4]

Vlastnost	Materiál nástroje			
	Al_2O_3	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	<i>SIALON</i>
Tvrdost [HV]	1600	2200	2230	1870
Pevnost v tlaku [MPa]	3000	4500	-	3500
Lomová houževnatost [MPa.m^{1/2}]	4,0	4,5	5,5	6,5
Tepelná vodivost při 20°C[W/m.°C]	10,5	16,7	10,5	20,3
Součinitel délkové roztažnosti[10⁻⁶K⁻¹]	8,0	8,5	8,5	3,1

Tento materiál patří do skupiny netradičních řezných materiálů, v oblasti obrábění představuje 4-5% z celkového objemu řezných materiálů. Vyšší procento použití řezné keramiky se vyskytuje v oblasti leteckého, kosmického a automobilového průmyslu z důvodu možnosti dosáhnout vyšších rychlostí. V posledních letech byly zlepšeny některé vlastnosti tohoto materiálu, proto se použití řezné keramiky rozšířilo i do oblasti obrábění s přerušovaným řezem.

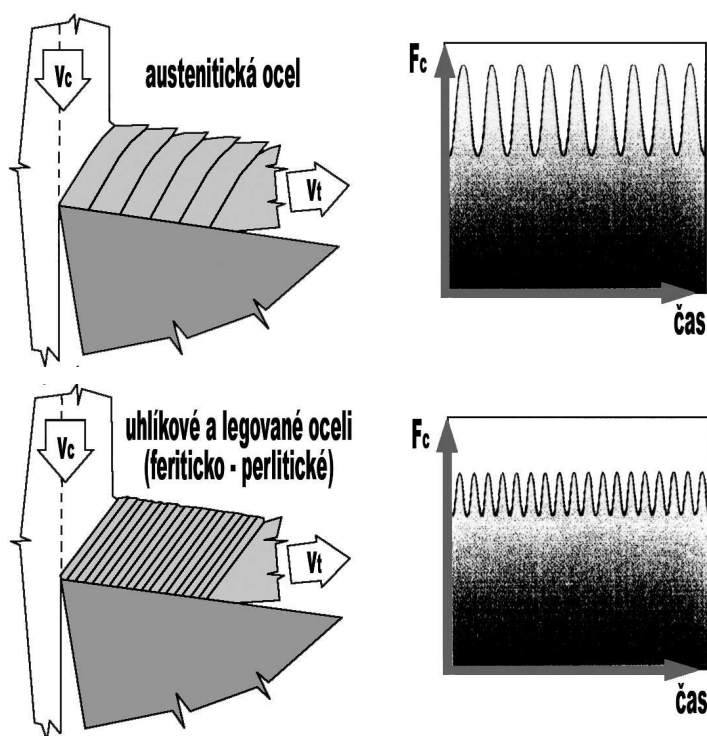
Přerušovaným řezem rozumíme, kdy řezná hrana odebírá odřezávanou vrstvu na určité dráze, potom vychází za záběru a následně opět řeže. Jedná se tedy o obrábění nepravidelných tvarů. Obráběcí proces se realizuje pomocí stroje, nástroje, obrobku a přípravku. Základním prvkem je nástroj, jehož materiálové vlastnosti jsou rozhodující a promítají se do celkových nákladů na výrobu součásti. Na materiál jsou kladeny požadavky určitých chemických, mechanických a fyzikálních vlastností. Nejdůležitější je vzájemné působení prvků nástroje a obrobku. Výsledkem této interakce je obrobený povrch součásti.

2 Vliv tepelných a mechanických rázů na ostří nástroje

Při přerušovaném řezu je vliv tepelných a mechanických rázů značný. Schopnost materiálů těmto rázům odolávat je ukazatelem celkové jakosti tak i ořezuvzdornosti.

Řezná keramika neoxidická má lepší odolnost proti teplotním šokům. Tvrdost těchto materiálů je stejná jako u slinutých karbidů a pohybuje se v rozmezí 1550-1700 HV. Lomová houževnatost u keramiky je $K_{IC} = 1,75$ až $4,3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Keramické destičky s negativním úhlem čela mohou pracovat při řezné rychlosti $600\text{--}750 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, posuvu $0,25 \text{ mm}$ a vykazují dobrou trvanlivost. Své výhody prokazují zejména při obrábění litiny a zušlechťených ocelí. Odolnost proti teplotě je vyšší než u slinutých karbidů.[4]

V důsledku cyklického namáhání dochází k porušení břitu lomem či vydrolení. Tento jev pozorujeme jak při přerušovaném obrábění, tak i při klasickém nepřerušovaném obrábění, tedy při plynulém řezu. To způsobuje kolísání hlavní složky řezné síly vlivem cyklického zatížení. Daná frekvence kolísání se odvíjí od charakteru vzniklé třísky (obr. 2.1).

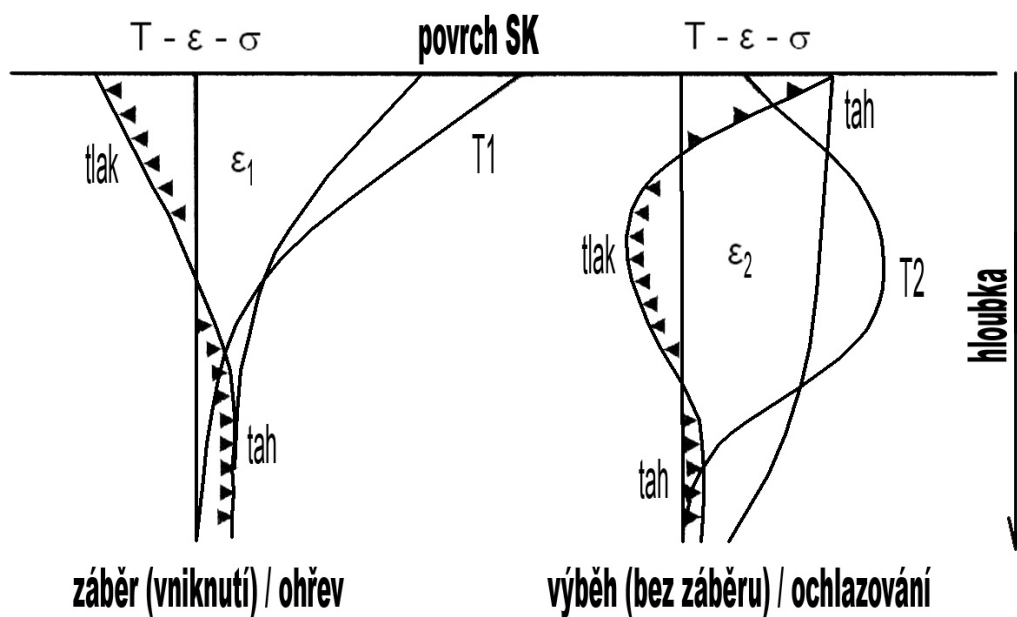


Obrázek 2.1: Amplitudy složky řezné síly [8]

Hodnocení odolnosti proti cyklickému zatížení vhodnými technologickými zkouškami je nutným doplňkem technologických zkoušek řezivosti, které vypovídají o odolnosti vyměnitelných břitových destiček proti oděru.[8]

2.1 Tepelné rázy

Při účinku tepelného pole v podmínkách plynulého řezu je vznik tepla považován za ustálený proces. Odlišná situace nastává při přerušovaném řezání, kde je přírůstek teploty závislý na čase. Teplota břitu se rychle mění. Při vniku břitu do materiálu rychle vzrůstá a následně klesá při výjezdu břitu z řezu. Břit nástroje je tak vystaven tepelným rázům, které jsou zapříčiněny střídavou přeměnou tlakových a tahových napětí v povrchových vrstvách vyměnitelné břitové destičky. Tyto změny negativně působí na kvalitu destiček, protože mohou způsobit vznik mikroskopických trhlin v oblasti ostří a tím porušit břit. [7]



Obrázek 1.2: Vliv napětí na břit nástroje[8]

Na obr. 2.2 je znázorněna tvorba trhlinek, kde je břit nástroje v pozici vnikání do obrobku ohříván. Teplota povrchové vrstvy značně vzroste, sousedící vrstvy dále od povrchu jsou chladnější a brání povrchovým vrstvám v přenosu vzniklého tepla z ohřevu. Vzniká napěťová nerovnováha a na povrchu se vyskytuje tlakové napětí, které dále přechází v tahové napětí sousedících vrstev. V okamžiku vyjetí břitu ze záběru se povrchová vrstva intenzivně ochlazuje. Pokles teploty zmíněné sousedící

vrstvy neprobíhá tak rychle. Dochází k opačnému napětíovému stavu, na povrchu tah a ve spodních vrstvách tlak. Takové kolísání napětí s účastí mechanických rázů může způsobit vznik trhlin a následné křehké porušení bříty.[7]

Vztah pro výpočet napětí je znám z teorie pružnosti a pevnosti:

$$\sigma = \gamma \cdot E \cdot \Delta T [MPa] \quad (2.1)$$

kde: γ součinitel teplotní roztažnosti [K^{-1}]

Emodul pružnosti [MPa]

ΔTteplotní gradient [K] [6]

Ze vztahu vyplývá, že čím větší je modul pružnosti E , součinitel tepelné roztažnosti a teplotní gradient, tím větší je tepelné napětí. Zvýšením odolnosti bříty proti teplotním rázům napomáhá vysoká pevnost v tahu, vysoká tepelná vodivost (která vede k menším teplotním gradientům), nízký modul pružnosti a nízký součinitel tepelné roztažnosti. [8]

Vylučování tepla způsobuje teplotní změny, vlivem vytvoření teplotního pole, takzvané teplotní vlnoplochy, určuje se teplotní gradient θ , resp. $\Delta \theta$. Teplotní gradient představuje změnu teploty na jednotku určité vzdálenosti ve směru největší změny teploty. [3]

Vyjádření přeměny generovaného tepla na přírůstek teploty v tříse, nástroji, respektive v obrobku nám umožňuje Fourier-Kirchhoffova rovnice:

$$\nabla^2 \theta(x; y; z) - \frac{v}{a} \text{grad} \theta(x; z; y) + \frac{q_v}{\lambda} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (2.2)$$

kde: $v=v[V_x; V_y; V_z]$vektor rychlosti pohyblivého tělesa nebo prostředí

atepelná difuzivita [$m^2 s^{-1}$]

q_vobjemová hustota tepelného toku [$W m^{-3}$]

λ měrná tepelná vodivost [$W K^{-1} m^{-1}$] [3]

Při účinku teplotního pole v podmínkách plynulého řezu je v dané rovnici podíl $(1/a)(\partial\theta/\partial t)=0$, tzn., že vznik tepla je považován za ustálený proces. Odlišná situace nastává při přerušovaném řezu. Zde je přírůstek teploty závislý na čase. Tento stav nám vyjadřují následující rovnice:

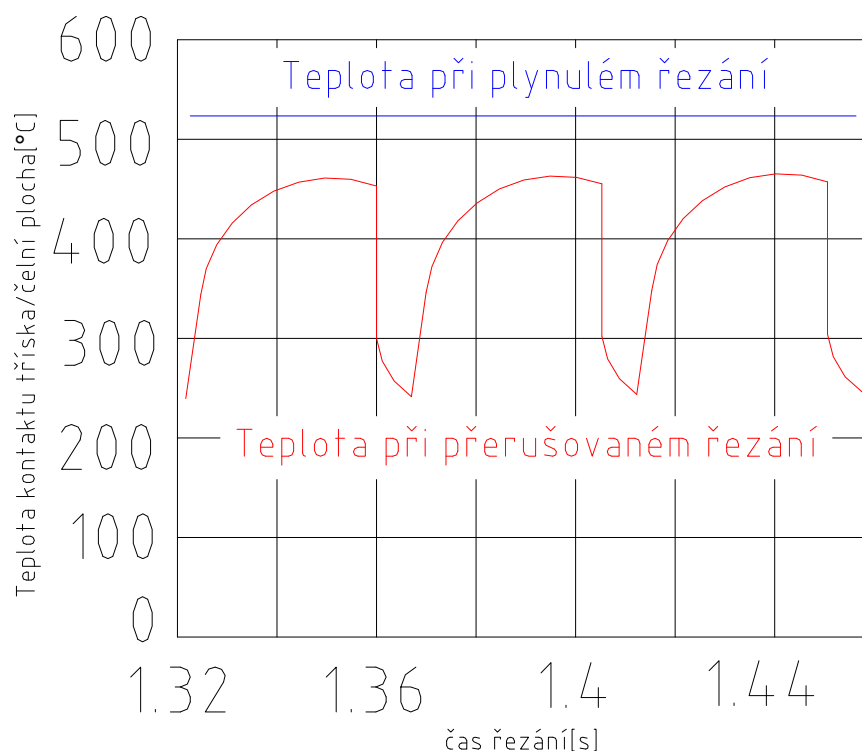
$$\nabla^2\theta = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial\theta}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$q(x, t) = -\lambda \frac{\partial\theta(x, t)}{\partial x_i} n_i(x) \quad (2.4)$$

kde: $x_1; y_1; \dots$ rozměry zdroje tepla podle průřezu kontaktu třísky s řezným klínem b.l_c

$q(x, y, t)$...časově proměnlivý tepelný tok [3]

Při časově proměnlivém tepelném toku je potřeba vymezit čas t_1 pro generování tepla (odpovídá dráze řezání L_1) a čas t_2 pro ochlazování, který odpovídá dráze L_2 . Protože jsou časy t_1 a t_2 stanovitelné kinematickou analýzou příslušného procesu řezání, hlavní úlohu představuje určení funkce časového rozdělení plošné hustoty tepelného toku $q=\text{funkce}(x;y;t)$ při volném řezání, respektive objemové hustoty tepelného toku $q_v=\text{funkce}(x;y;z;t)$ při vázaném řezání a příslušné okrajové podmínky. S ohledem na značnou komplikovanost pro dané funkce je problematika vysvětlována interpretací výsledků pro časový průběh teplot při přerušovaném soustružení(obr. 2.3). [3]



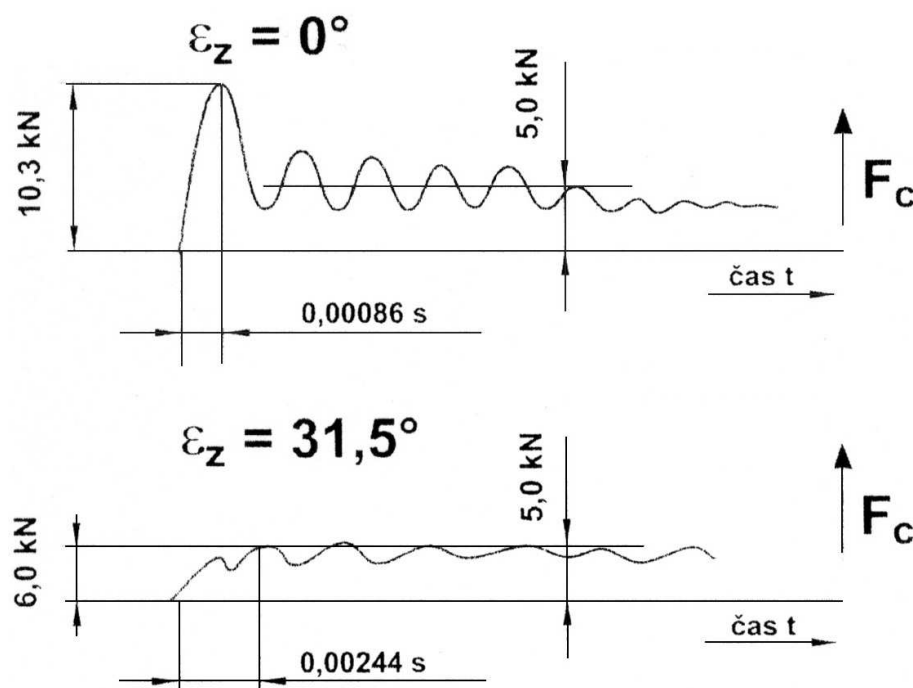
Obrázek 2.3: Průběh teploty při plynulém a přerušovaném řezání [3]

Protože teplotní pole v dotyku tříska/plocha řezného klínu se při plynulém řezání časem nemění, potom vykazuje libovolný bod tepelného pole časově nezávislou hodnotu okamžité teploty. Přerušované řezání má zákonitosti jiné. Libovolný bod dotyku tříska/čelní plocha řezného klínu vykazuje v čase t_1 tzv. kumulativní nárůst teploty, který odpovídá zahřívání řezného klínu. Změna okamžité teploty po ukončení řezání je způsobena ochlazováním řezného klínu v čase t_2 . Jevy zahřívání a ochlazování se periodicky opakují, ale maximální okamžitá teplota při zahřívání řezné hrany nikdy nedosahuje úrovně okamžité teploty v daném dotyku při plynulém řezání. Plynulé řezání představuje určitou formu ustálení okamžitých teplot v daném dotyku.

Maximální teploty v dotyku tříska/čelní plocha řezného klína a perioda ochlazování řezného klína je současně závislá na řezné rychlosti. Nižší řezné rychlosti představují větší periodu ochlazování.[3]

2.2 Mechanické rázy

Při vniknutí břitu nástroje do obrobku krátkodobě narůstá hlavní složka řezné síly. Stejný jev pozorujeme při přerušovaném řezu, kdy nárůst může dosáhnout v některých případech až několikanásobku střední hodnoty hlavní složky řezné síly po vniknutí břitu do obrobku. Velikost hodnoty nárůstu této hlavní složky řezné síly závisí na čase, tedy od prvního kontaktu až po plný průřez třísky. Doba vniknutí závisí na vzájemné poloze povrchu obrobku a čela nástroje. Dojde-li k prvnímu kontaktu v celém průřezu třísky najednou, považujeme pak čas vniknutí za nulový a mechanický ráz či složka řezné síly dosáhne svého maxima, což vidíme na obr. 2.4, který znázorňuje naměřené hodnoty nárůstu hlavní složky řezné síly v závislosti na čase vniknutí břitu a specifickým úhlem záběru ε_z . Čím je vnikání břitu na plný průřez třísky pozvolnější, tím je nárůst řezné síly menší. Na čele vyměnitelných břitových destiček (dále jen VBD) dochází k nebezpečnému kontaktu, kde vzniká křehké porušení břitu.[6]



Obrázek 2.4: Hlavní složka řezné síly v závislosti na čase a úhlu záběru [8]

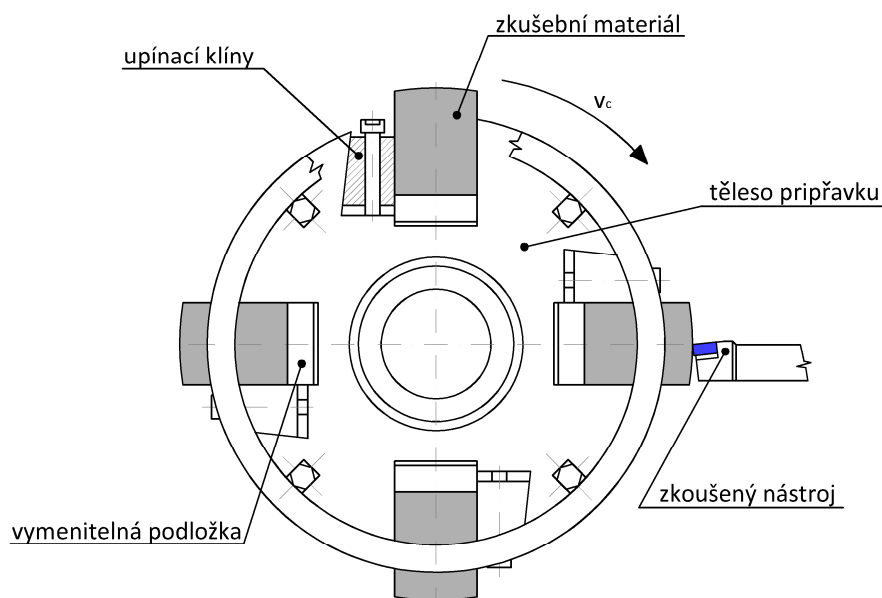
3 Metody zkoušek pro přerušovaný řez

Pro získání informací o podmínkách soustružení při přerušovaném řezu se v praxi používají obráběcí testy. Zkoušky nám dovolují provádět změnu doby záběru nástroje, měnit frekvenci mechanických i tepelných rázů v širokém spektru. Důležitým faktorem je také tvar zkušebních obráběných obrobků, na jehož základě při použití dané metody zkoušek lze provést vyhodnocení nástroje z hlediska jeho houževnatosti vlivem zátěže charakteristické pro přerušovaný řez.[7]

Metody soustružení pro přerušovaný řez můžeme rozdělit na metodu podélného soustružení, známou jako lištový test, metodu soustružení s podélnými drážkami a metodu příčného soustružení, tzv. čepový test.

3.1 Metoda podélného soustružení

Při provádění tohoto testu se využívá simulátor přerušovaného řezu, který je upnut do sklíčidla soustruhu a podepřen upraveným hrotem. Do simulátoru jsou vsazeny obráběné lišty daného materiálu a upnuty pomocí sady upínacích klínů. Danou sestavu vidíme na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Schéma simulátoru se vsazenými lištami pro lištový test [6]

Simulátor přerušovaného řezu byl zhotoven v rámci řešení grantového projektu GAČR č. 101/93/0129 v laboratořích Katedry obrábění a montáže.[13] Původně byl přípravek zkonstruován pro řeznou rychlost v rozsahu $120-400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Tato rychlost odpovídá oblasti použití SK a dolní části rozsahu řezné keramiky. Pro použití vyšších řezných rychlostí je nutné zajistit dynamické vyvážení a zajištění vyměnitelných podložek proti uvolnění odstředivými silami při vysokých otáčkách vřetene.[11] Zkoušený nástroj se posouvá podélně od hrotu směrem ke sklíčidlu soustruhu. Při jednom otočení vřetene je břit vystaven čtyřem rázům, které vznikají při vnikání břitu do lišt.

Před samotným měřením, musí být simulátor upnut do sklíčidla soustruhu (obr. 3.2). Vzhledem k vysoké hmotnosti přípravku se k upnutí využívá mechanického zvedáku. Po té se do něj jednotlivě vloží lišty z daného materiálu, které se pevně zajistí pomocí klínových čelistí pojištěných šrouby. Čelisti zajišťují přeměnu odstředivé síly na zvyšující se přitlačnou sílu na lišty. Jako pojistka před uvolněním lišt slouží pojistné kroužky, které jsou přišroubovány na obou čelech přípravku. Výhodou je použití přípravku pro lišty z různých materiálů. Nevýhodou může být nákladná výroba lopatek, nutnost vyváženosti při testování ve vysokých otáčkách a odlišná tuhost v upnutí přípravku.



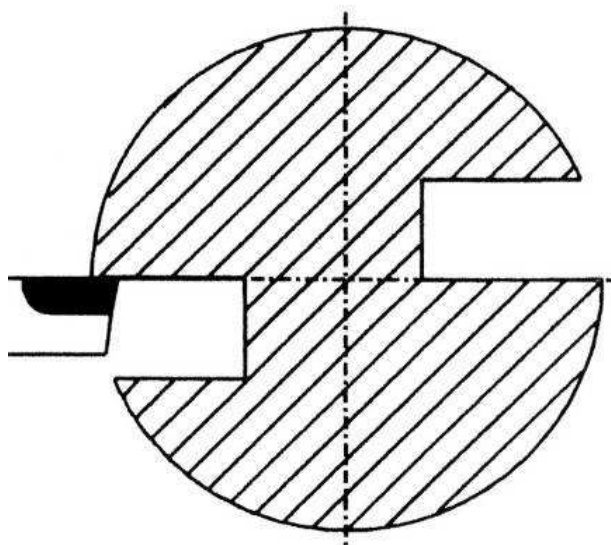
Obrázek 3.2: Simulátor přerušovaného řezu před soustružením

Pro zajištění konstantní řezné rychlosti v průběhu testu, jsou lišty po osoustružení vrstvy radiálně podkládány speciálními distančními podložkami, takže obrábění probíhá na stále stejném průměru. Před vlastním testováním je nutno odřezat první hloubku třísky, aby byla zaručena konstantní hloubka řezu. Tímto se zajistí i vyvážení proti rozkmitání soustavy, protože vzdálenost lišt bude od středu konstantní. Tato první tříska se do testu nezapočítává. Nyní může započít testování VBD.[11]

Po určité době obrábění při daných podmínkách začnou vznikat na břitu destičky trhlinky, které s určitým počtem rázů způsobí destrukci břitu. Pokud břit vydrží stanovenou mezní hodnotu počtu rázů, pak se jedná o úspěšný vzorek nebo se může spočítat počet vzniklých hřebenových trhlin. Úhel záběru zůstává konstantní. Vznikne mechanický ráz, který má během zkoušky stálou hodnotu a proces ochlazování vzhledem k době záběru je závislý na počtu daných lišt.

3.2 Metoda soustružení s podélnými drážkami

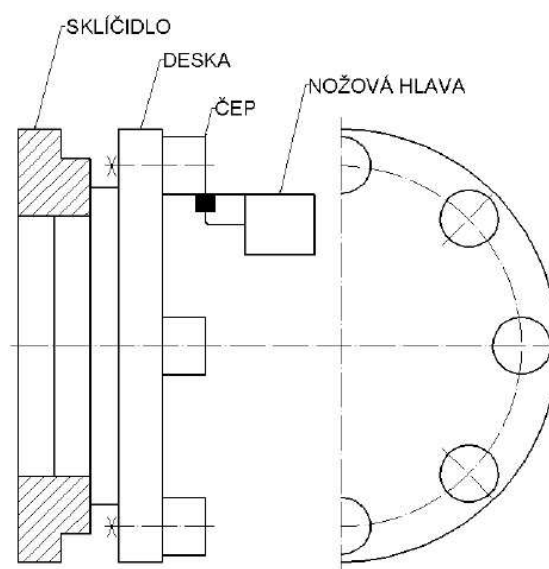
U této metody je zkušebním přípravkem válec, po jehož délce jsou vyfrézovány drážky. Počet drážek je libovolný. V porovnání s metodou předchozí se jedná o obrácený poměr nástroje v záběru a dobou chlazení. Teplotní rázy nejsou tak velké, neboť kolísání břitu je menší. Proto je vznik trhlin a následné porušení časově náročnější. Schéma přípravku můžeme vidět na obr. 3.3.



Obrázek 3.3: Schéma přípravku pro soustružení s dvěma podélnými drážkami [8]

3.3 Metoda příčného soustružení

Při testování pomocí příčného soustružení používáme jako obrobek válcové čepy, upnuté v čelní desce přípravku, jak je zřejmé z obr. 3.4. Tato deska s různým počtem vsazených čepů je upnuta ve sklíčidle soustruhu. Samotné soustružení probíhá směrem od středu k obvodu desky. Destička je namáhána podle toho, kolik čepů přípravek obsahuje. Důležitým parametrem je řezná rychlost, která je v průběhu testu proměnná.



Obrázek 3.4: Schéma přípravku pro čepový test [7]

Jakmile vnikne nůž do čepu, vytvoří se mechanický ráz. Soustružením jednotlivých vrstev čepu se vlivem posuvu mění i doba setrvání břitu v řezu, čímž se mění i poměr fáze řezání a ochlazování břitu. Proto je zkouška vhodná pro testy odolnosti břitu proti cyklickému teplotnímu a mechanickému zatížení. Na břitu nástroje se vytvářejí mikroskopické trhliny které předcházejí porušení břitu vlivem rázového zatížení. Zkouška je časově i materiálně nenáročná, ale z poskytnutých údajů se nedají stanovit doporučené řezné podmínky pro soustružení s přerušovaným řezem. Používá se tedy především pro srovnání řezných materiálů od různých výrobců a druhů mezi sebou, popř. jako kontrola jakosti příslušné tavby.[7, 11]

4 Testování keramických břitových destiček na VŠB-TUO

V předchozí kapitole je uváděno několik možností testování nástrojů při přerušovaném řezu. Pro naše zkoušení byla použita metoda podélného soustružení válce. Testovány byly vyměnitelné břitové destičky firmy KYOCERA, u kterých byl zjišťován celkový počet rázů, které VBD vydrží až do porušení. Měření každé destičky proběhlo třikrát, ve vyhodnocení uvádím průměrné hodnoty.

4.1 Obráběcí stroj a simulátor přerušovaného řezu

Pro daný experiment byl použit univerzální soustruh značky ZMM SLIVEN (obr.4.1), do jehož sklíčidla byl upnut simulátor přerušovaného řezu se čtyřmi vsazenými lištami, jak je popsáno v předchozí kapitole.



Obrázek 4.1: Použitý soustruh s upnutým simulátorem

4.2 Nástrojový držák

Jednotlivé VBD byly mechanicky upnuty do nástrojového držáku typu CSRNR 25x25M-12CE.

4.3 Materiál použitých lišt(obrobku)

Pro dané testy byly použity lišty z oceli 15 128 (13MoCrV6). Tato ocel má zvláštní vlastnosti pro práci za vyšších teplot, je žárovevná pro namáhání při zvýšených teplotách v oblasti meze kluzu i meze tečení. Jednotlivé vlastnosti a chemické složení ukazují tabulka 4.1 a tabulka 4.2.

Tabulka 4.1: Chemické složení oceli 15 128 (13MoCrV6) v % [6]

C	Mn	Mo	Si	P	S	V	Si	Al	Cr
0,1-0,18	0,45-0,7	0,4-0,6	0,15-0,4	do 0,04	do 0,04	0,22-0,35	0,15-0,4	0,025	0,050

Tabulka 4.2: Mechanické vlastnosti oceli 15 128 (13MoCrV6) [6]

Rp 0,2[MPa]	Rm[MPa]	Tvrdost[HB]	E[GPa]
294	470-640	135-183	214

4.4 Testované VBD

Pro daný experiment byly testovány čtyři druhy VBD značky Kyocera (obr. 4.1). Jedná se o destičky s označením KS6000, PT600M, A66N a A65. Jejich vlastnosti nám ukazuje tabulka 4.3.



Obrázek 4.1: Použité testované VBD

Tabulka 4.3: Vlastnosti VBD KYOCERA [14]

Typ destičky	Hlavní složka	Tvrdość potažené vrstvy [GPa]	Tvrdość substrátu [GPa]	Lomová houževnatost [Mpa.m ^{1/2}]	Ohybová pevnost [MPa]
KS6000	Si ₃ N ₄	-	15,7	6,5	1230
PT600M	Al ₂ O ₃ +TiC	30	20,1	4,1	980
A66N	Al ₂ O ₃ +TiC	20	20,1	4,1	980
A65	Al ₂ O ₃ +TiC	-	20,6	4,5	780

Keramické destičky firmy Kyocera jsou navrženy tak, aby odolávaly oxidaci a udržovaly tvrdość za vyšších teplot. Destičky typu KS6000 jsou používány především pro obrábění litiny přerušovaným řezem, ostatní typy se využívají spíše pro hrubování a dokončovací obrábění litiny a tvrdých materiálů. Použití jednotlivých destiček vidíme v tabulce 4.4. [14]

Tabulka 4.4: Použití VBD KYOCERA [14]

Typ VBD KYOCERA	KS6000	PT600M	A66N	A65
Použití	Těžké obrábění litin, přerušovaný řez (s chlazením i bez chlazení)	Hrubování tvrdých materiálů, obrábění tvrdých materiálů na čisto	Hrubování tvrdých materiálů, obrábění tvrdých materiálů na čisto	Hrubování litin a tvrdších materiálů, obrábění litin a tvrdších materiálů na čisto

4.5 Řezné parametry

Každý typ destičky byl testován při dvou různých řezných rychlostech a při čtyřech různých posuvech.

Dané rychlosti v_{c1} a v_{c2} byly vypočteny podle známého vzorce v případě, ve kterém jsme znali nastavení otáček vřetene. Otáčky byly nastaveny na 500min⁻¹ a 660min⁻¹, při středním obráběném průměru 260mm.

$$v_{c1} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 260 \cdot 500}{1000} = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.1)$$

$$v_{c2} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 260 \cdot 660}{1000} = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.2)$$

Řezné parametry byly navrženy tak, aby nám zaručily určitou trvanlivost bříty. Jednotlivé hodnoty jsou shrnuty v tabulce 4.5 .

Tabulka 4.5: Použité řezné parametry

Řezné parametry experimentu								
Otáčky $n[\text{min}^{-1}]$	500				660			
Řezná rychlost $v_c [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	408				539			
Posuv $f[\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}]$	0,15	0,2	0,25	0,30	0,15	0,2	0,25	0,30
Hloubka řezu $a_p[\text{mm}]$	1							

4.6 Výpočet počtu rázů

Měření bylo provedeno na více destičkách jednotlivého typu, přičemž vždy byly testovány dvě hrany. Stanoven byl maximální počet rázů na jednu stranu destičky o hodnotě 6000 rázů. Z níže uvedeného vztahu byla vypočtena kritická délka pro každou hodnotu posuvu, jejichž hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.6.

Tabulka 4.6: Hodnoty kritických délek odpovídající $R=6000$

Posuv $f[\text{mm}]$	0,15	0,2	0,25	0,3
Kritická délka $l_{\text{krit}} [\text{mm}]$	225	300	375	450

Pokud destička obrobí celou délku bez porušení, je považována za úspěšný vzorek a její testování se ukončí. Poruší-li se destička dříve, než dosáhne kritické délky, musí se hodnota obrobené délky zaznamenat a počet rázů se vypočítá z následujícího vzorce:

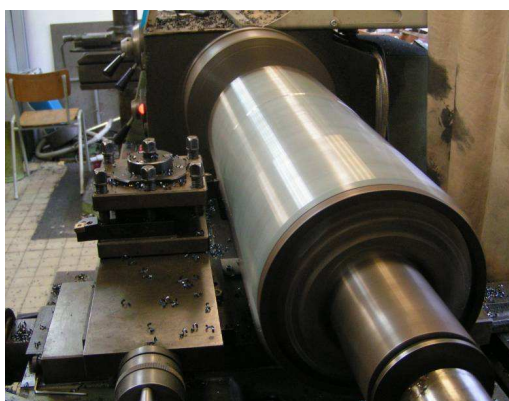
$$R = \frac{4 \cdot l}{f} \quad (4.3)$$

R.....počet rázů do poškození[rázy]

l.....obrobená délka[mm]

f.....posuv[mm]

Vznik destrukce břitové destičky byl zpozorován nejen okem ale také sluchem. Po příznacích destrukce VBD byl chod stroje zastaven a nástroj vyměněn. Průběh experimentu vidíme na obr. 4.2.



Obrázek 4.2: Testování nástrojů

4.7 Vyhodnocovací zařízení

Vyhodnocení jednotlivých VBD proběhlo na mikroskopu Intracomicro (obr. 4.3), který je doplněn digitální kamerou se čtyřnásobným zvětšením. Mikroskop je připojen k počítači, který je pro uložení snímků opotřebení vybaven softwarem Import 5.



Obrázek 4.3: Mikroskop Intracomicro [7]

5 Vyhodnocení testů

Jednotlivé počty rázů byly zaznamenány do tabulek. U každá použité VBD byl proveden mikroskopický snímek, který doplňuje získané výsledky. Výstupem naměřených hodnot bude grafické vyhodnocení, kdy získáme závislosti rázů na řezné rychlosti a na posuvu.

5.1 Vyhodnocení pro VBD KS6000

Každý druh VBD byl obráběn dvěma řeznými rychlostmi. Výsledky počtu rázů pro $v_{c1}=408\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ jsou uvedeny v tabulce 5.1, pro $v_{c2}=539\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ v tabulce 5.2. K jednotlivým označením jsou doplněny mikroskopické snímky viz. tabulka 5.3.

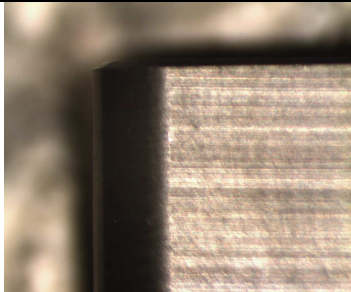
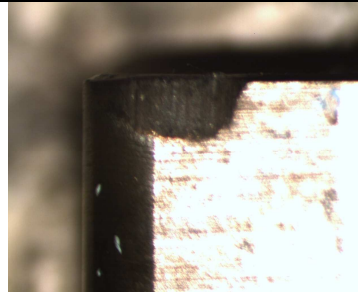
Tabulka 5.1: Tabulka hodnot pro VBD KS6000 při v_{c1}

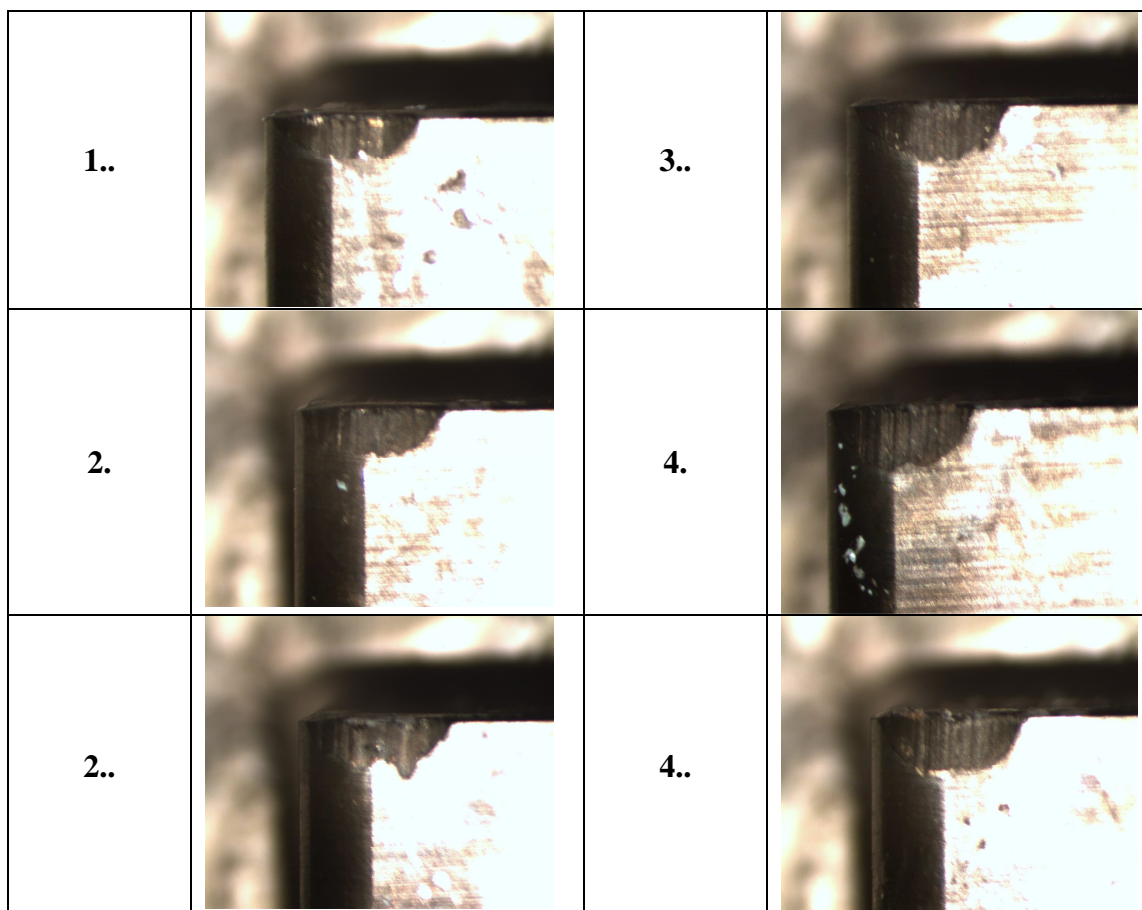
Posuv f [mm]	Krit. délka l [mm]	Počet rázů R	Označení měřené hrany
0,15	225	6000	1.
0,2	300	6000	1..
0,25	375	6000	2.
0,3	450	6000	2..

Tabulka 5.2: Tabulka hodnot pro VBD KS6000 při v_{c2}

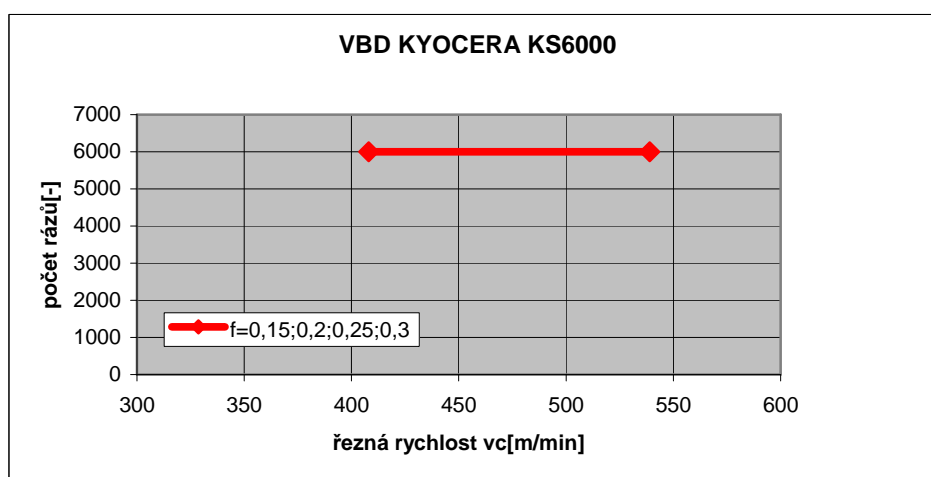
Posuv f [mm]	Krit. délka l [mm]	Počet rázů R	Označení měřené hrany
0,15	225	6000	3.
0,2	300	6000	3..
0,25	375	6000	4.
0,3	450	6000	4..

Tabulka 5.3: Mikroskopické snímky opotřebení pro VBD KS6000

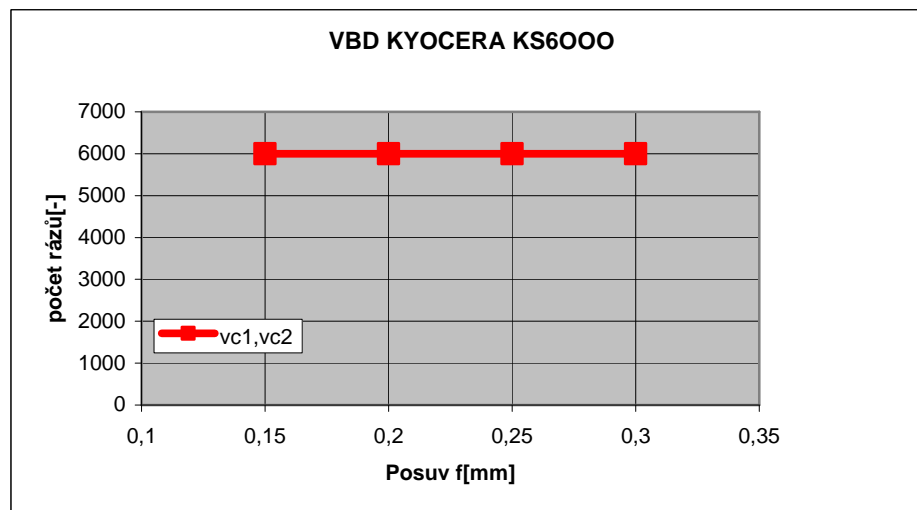
Označení měřené hrany	Mikroskopický snímek	Označení měřené hrany	Mikroskopický snímek
1.		3.	



5.1.1 Grafické vyhodnocení pro VBD KYOCERA KS6000



Graf 5.1: Závislost počtu rázů na řezné rychlosti pro typ KS6000



Graf 5.2: Závislost počtu rázů na posuvu pro typ KS6000

Ze závislostí můžeme vyčíst, že dané destičky vydržely pro obě řezné rychlosti hraniční počet rázů $R = 6000$ nezávisle na posuvu a rychlosti

5.2 Vyhodnocení pro VBD PT600M

Výsledky počtu rázů pro $v_{c1} = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ jsou uvedeny v tabulce 5.4, pro $v_{c2} = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ v tabulce 5.5. V následující tabulce vidíme mikroskopické snímky.

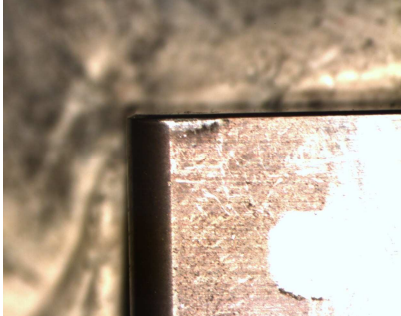

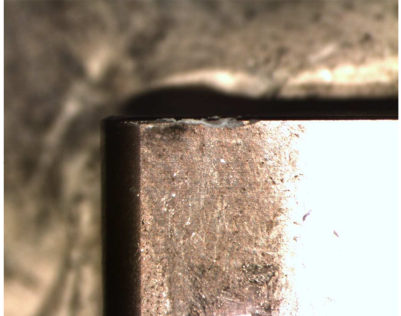


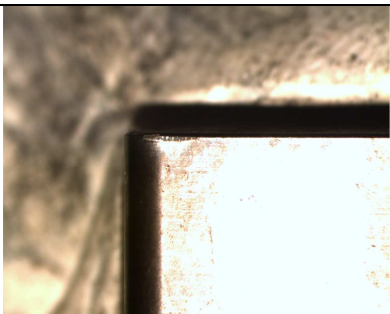


Tabulka 5.4: Tabulka hodnot pro VBD PT600M při v_{c1}

Posuv f [mm]	Krit. délka l [mm]	Počet rázů R	Označení měřené hrany
0,15	225	6000	1.
0,2	300	6000	1..
0,25	375	6000	2.
0,3	450	6000	2..

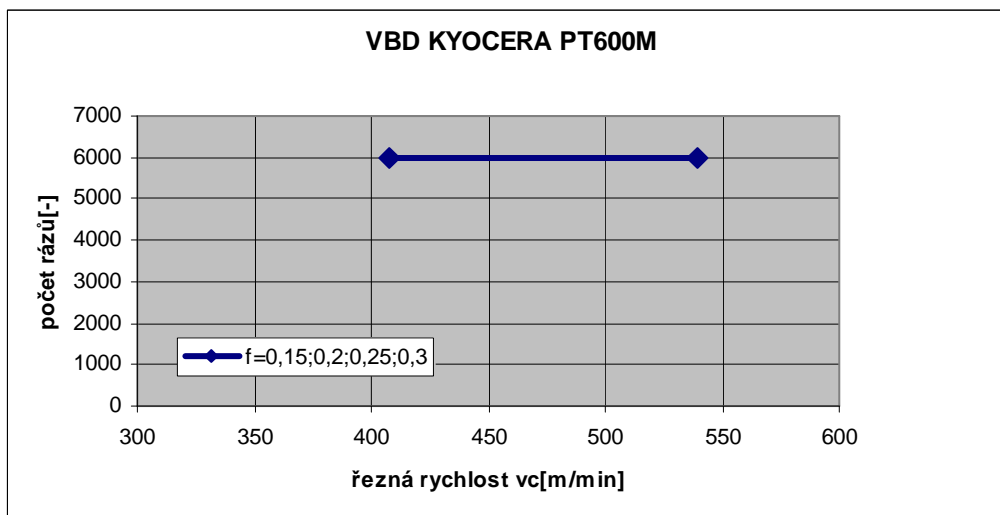
Tabulka 5.3: Tabulka hodnot pro VBD PT600M při v_{c2}

Posuv f [mm]	Krit. délka l [mm]	Počet rázů R	Označení měřené hrany
0,15	225	6000	3.
0,2	300	6000	3..
0,25	375	6000	4.
0,3	140	1867	4..

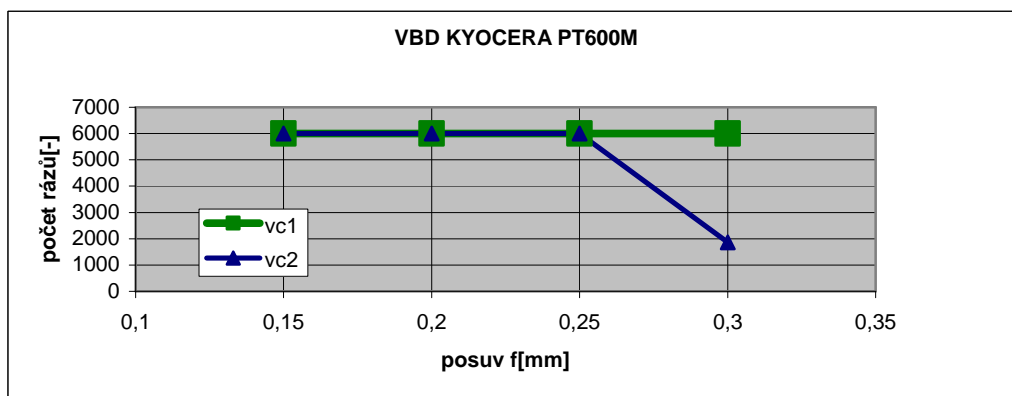
Tabulka 5.6: Mikroskopické snímky pro VBD PT6OOM

Označení měřené hrany	Mikroskopický snímek	Označení měřené hrany	Mikroskopický snímek
1.		3.	
1..		3..	
2.		4.	
2..		4..	

5.2.1 Grafické vyhodnocení pro VBD KYOCERA PT600M



Graf 5.3: Závislost počtu rázů na řezné rychlosti pro typ PT600M



Graf 5.4: Závislost počtu rázů na posuvu pro typ PT600M

Výše uvedené grafy nám poukazují nezávislost VBD PT600M na řezné rychlosti v_{c1} , jelikož všechny destičky dosáhly kritického počtu rázů bez porušení. U rychlosti v_{c2} a posuvu $f=0,3$ již byla zaznamenána změna poklesu počtu rázů.

5.3 Vyhodnocení pro VBD A66N

Výsledky počtu rázů pro $v_{c1}=408\text{m.min}^{-1}$ jsou uvedeny v tabulce 5.7, pro $v_{c2}=539\text{m.min}^{-1}$ v tabulce 5.8. V tabulce 5.9 vidíme mikroskopické snímky jednotlivých VBD.

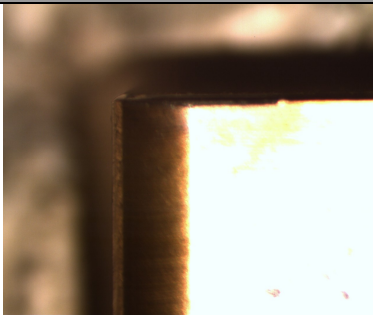

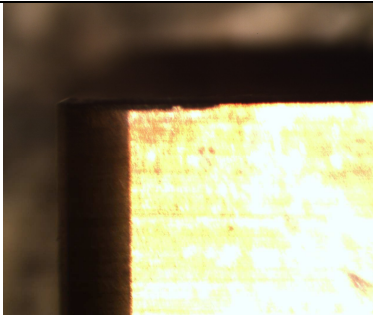
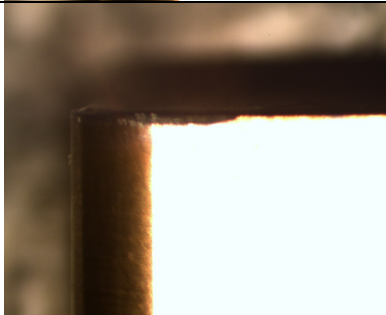
Tabulka 5.7: Tabulka hodnot pro VBD A66N při v_{c1}

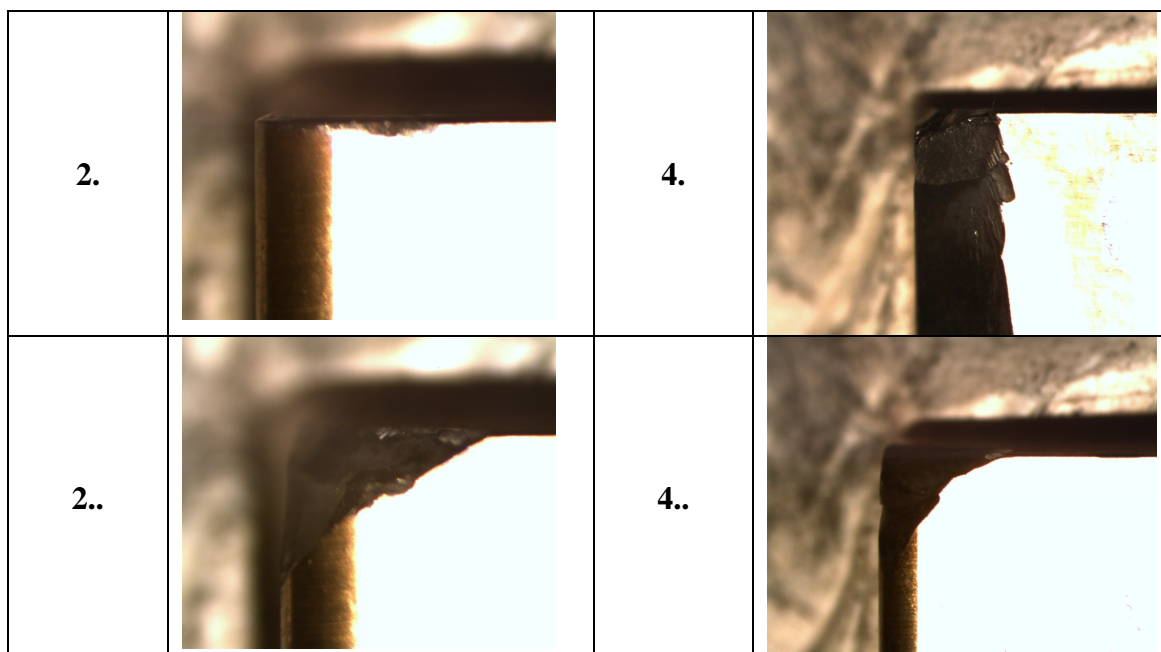
Posuv f [mm]	Krit. délka l[mm]	Počet rázů R	Označení měřené hrany
0,15	225	6000	1.
0,2	300	6000	1..
0,25	375	6000	2.
0,3	223	2973	2..

Tabulka 5.8: Tabulka hodnot pro VBD A66N při v_{c2}

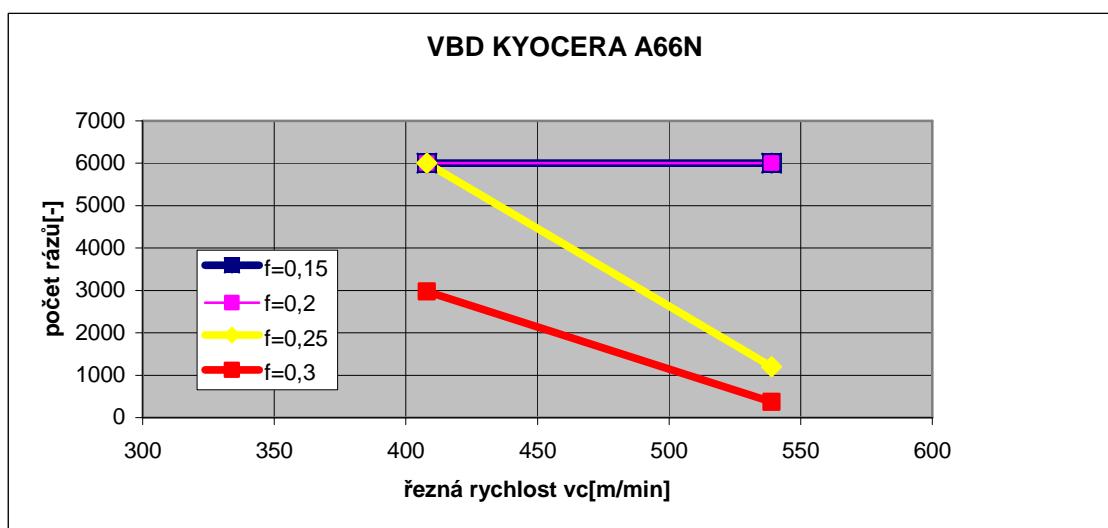
Posuv f [mm]	Krit. délka l[mm]	Počet rázů R	Označení měřené hrany
0,15	225	6000	3.
0,2	300	6000	3..
0,25	75	1200	4.
0,3	28	373	4..

Tabulka 5.9: Mikroskopické snímky pro VBD A66N

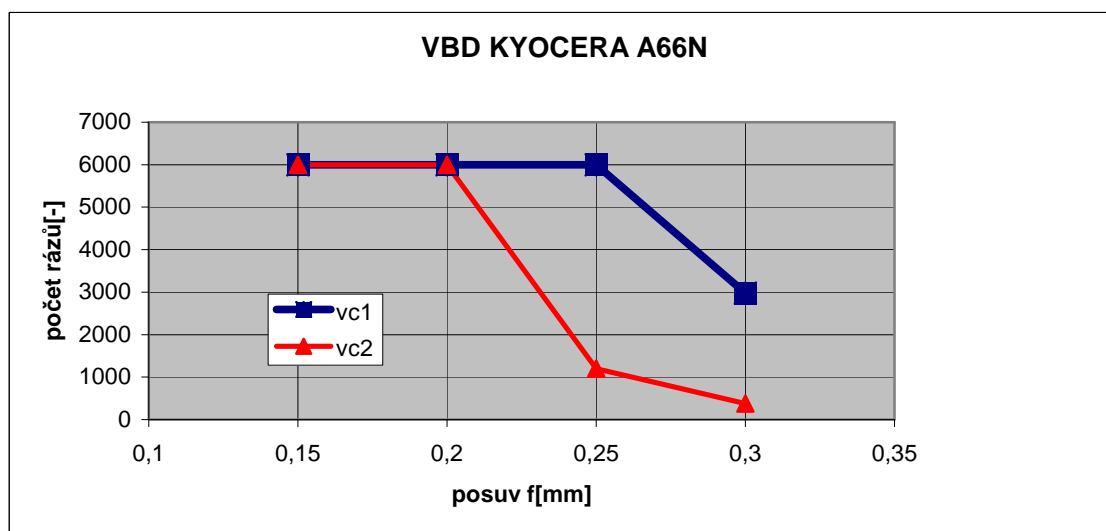
Označení měřené hrany	Mikroskopický snímek	Označení měřené hrany	Mikroskopický snímek
1.		3.	
1..		3..	



5.3.1 Grafické vyhodnocení pro VBD KYOCERA A66N



Graf 5.5: Závislost počtu rázů na řezné rychlosti pro typ A66N



Graf 5.6: Závislost počtu rázů na posuvu pro typ A66N

Z daných závislostí vidíme, že VBD KYOCERA A66N již není tak odolná jako předchozí typy destiček. Pro posuvy $f=0,15\text{mm}$ a $f=0,2\text{mm}$ destička dosahuje kritického počtu rázů, ovšem po překročení hodnot těchto posuvů již neobrobí celou stanovenou plochu. Při větších posuvech se začne hodnota počtu rázů snižovat, přičemž rychlejší klesání je zaznamenáno pro posuv $f=0,25\text{mm}$.

Poukázáno je také na závislost dosažení počtu kritických rázů na řezné rychlosti. S vyšší řeznou rychlostí v_{c2} se počet rázů sníží již při překročení hodnoty posuvu $f=0,2\text{mm}$, což u řezné rychlosti v_{c1} zaznamenáváme až při překročení posuvu $f=0,25\text{mm}$.

5.4 Vyhodnocení pro VBD A66N

Výsledky počtu rázů pro $v_{c1}=408\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ jsou uvedeny v tabulce 5.10, pro $v_{c2}=539\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ v tabulce 5.11. Dále jsou opět přiloženy mikroskopické snímky jednotlivých VBD.

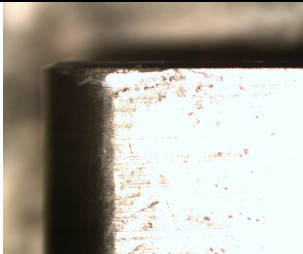

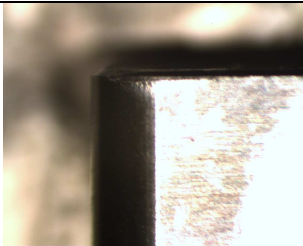
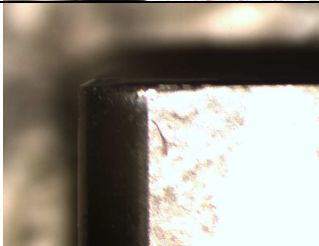
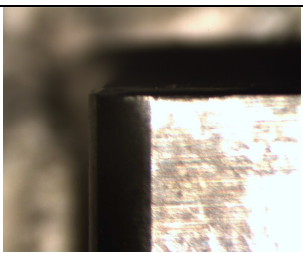

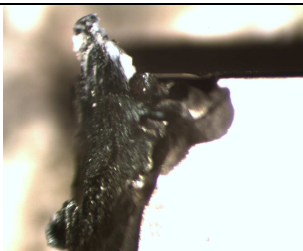

Tabulka 5.10: Tabulka hodnot pro VBD A65 při v_{c1}

Posuv f [mm]	Krit. délka l[mm]	Počet rázů R	Označení měřené hrany
0,15	225	6000	1.
0,2	300	6000	1..
0,25	375	6000	2.
0,3	92	1227	2..

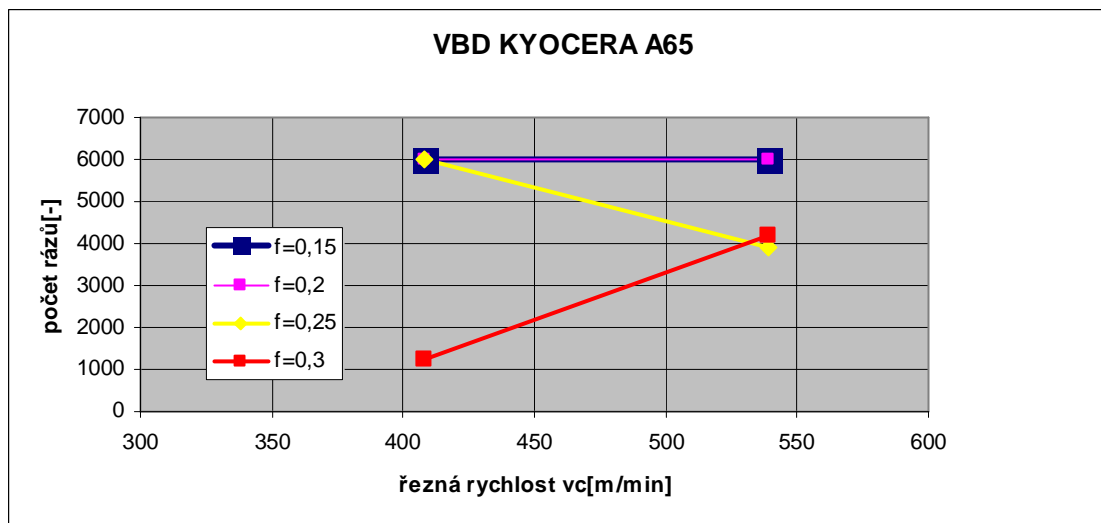
Tabulka 5.11: Tabulka hodnot pro VBD A65 při v_{c2}

Posuv f [mm]	Krit. délka l[mm]	Počet rázů R	Označení měřené hrany
0,15	225	6000	3.
0,2	300	6000	3..
0,25	245	3920	4.
0,3	313	4173	4..

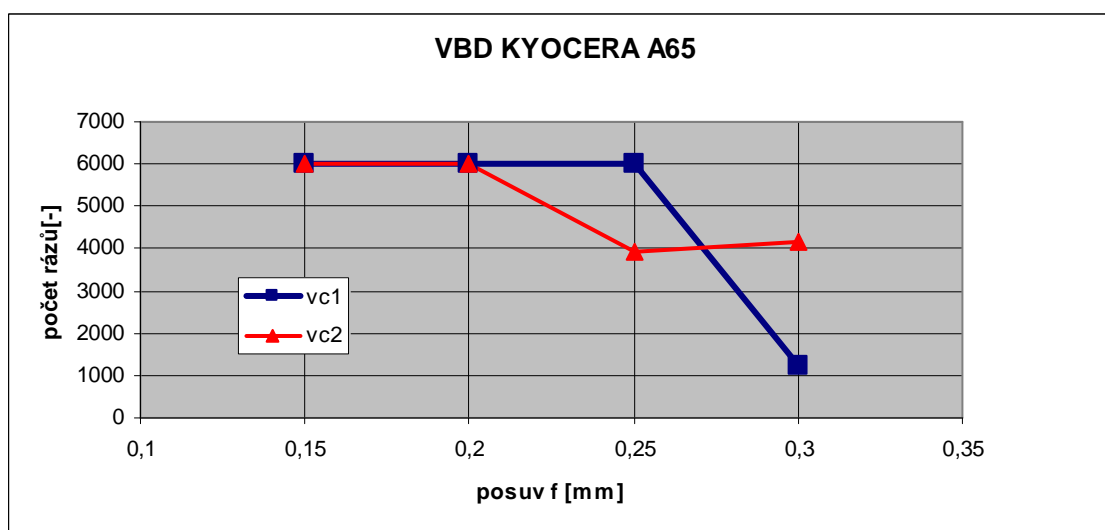
Tabulka 5.12: Mikroskopické snímky pro VBD A65

Označení měřené hrany	Mikroskopický snímek		Označení měřené hrany	Mikroskopický snímek	
1.			3.		
1..			3..		
2.			4.		
2..			4..		

5.4.1 Grafické vyhodnocení pro VBD KYOCERA A65



Graf 5.7: Závislost počtu rázů na řezné rychlosti pro typ A65

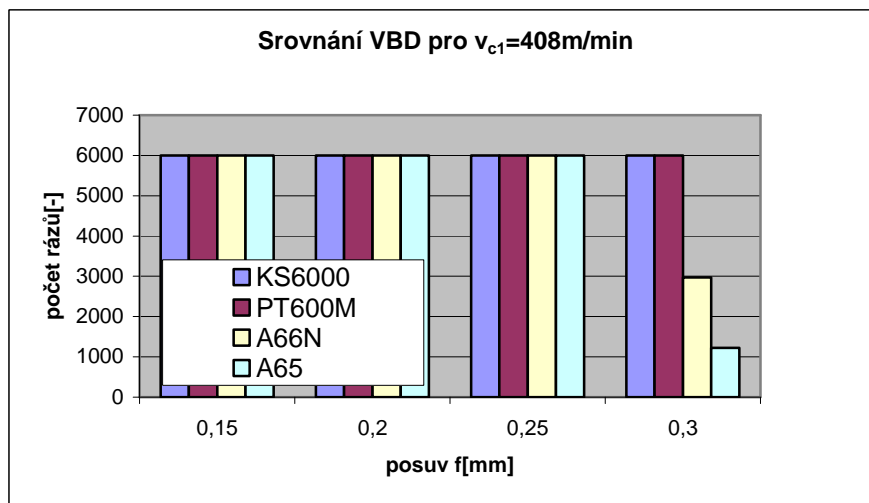


Graf 5.8: Závislost počtu rázů na posuvu pro typ A65

Zajímavostí je závislost dle grafu 5.7. Se zvyšující se rychlostí při posuvu $f=0,25$ počet rázů klesá a následně při posuvu $f=0,3$ roste. Je to způsobeno vlastnostmi materiálů dané destičky, jež je určena na hrubování tvrdších materiálů. Pro posuv $f=0,15$ mm a $f=0,2$ bylo dosaženo kritické hodnoty rázů. Z grafu 5.8 můžeme vyčíst, že při v_{c1} a při překročení posuvu $f=0,25$ začne počet rázů klesat. Při vyšší rychlosti v_{c2} a posuvu $f=0,25$ mm byl zaznamenán pokles rázů. Při stejné rychlosti a větším posuvu se naopak počet rázů zvyšoval.

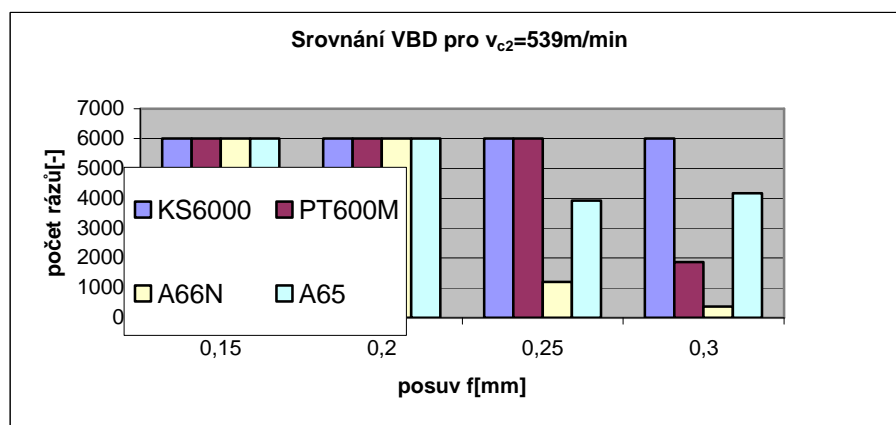
5.5 Srovnání jednotlivých destiček

Z grafu 5.9, kdy jsou porovnávány testované VBD pro řeznou rychlost $v_{c1}=408\text{m/min}$ můžeme vyčíst, že destičky všech typů byly schopny vydržet až do kritického počtu rázů $R=6000$ a to do posuvu $f=0,25\text{mm}$. Při posuvu $f=0,3\text{mm}$ kritické hodnoty rázů nedosáhly destičky typu A66N a A65, přičemž destička A65 vydržela nejnižší počet rázů.



Graf 5.9: Porovnání jednotlivých VBD pro v_{c1}

Při větší rychlosti $v_{c2}=539\text{m/min}$ dosáhly kritické hodnoty rázů všechny destičky jen do hodnoty posuvu $f=0,2\text{mm}$. Při větších posuvech se opět jako rychleji opotřebené ukázaly destičky typu A66N a A65, přičemž po překročení $f=0,25$ začala klesat i hodnota rázů u typu PT600M. Srovnání nám vykazuje graf 5.10.



Graf 5.10: Porovnání jednotlivých VBD pro v_{c2}

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit počínání VBD z řezné keramiky při přerušovaném řezu. Objektem testování byly čtyři druhy destiček od výrobce KYOCERA. Jedná se o destičky KS6000, PT600M, A66N a A65. Pro tento experiment byl zvolen jako vhodný test zkouška podélného soustružení na speciálním simulátoru přerušovaného řezu, zhotoveným na Katedře obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB-TUO. Obráběním materiálem byla zvolena ocel 15 128 (13MoCrV6).

Každá destička jednotlivého typu byla testována třikrát a to pro dvě různé rychlosti, $v_{c1}=408\text{m/min}$ a $v_{c2}=539\text{m/min}$, a to pro hodnoty posuvů $f=(0,15;0,2;0,25;0,3)\text{mm}$. V práci jsou uvedené průměrné hodnoty výsledků měření. Cílem bylo zjistit počet rázů, které destička vydrží, přičemž byla zvolená kritická hodnota $R=6000$, z čehož se vypočetla délka, kterou musí destička obrobit. Následně byly tyto údaje zpracovány a vyhodnoceny.

Celkově můžeme říci, že počet rázů se snižuje se zvětšujícím se posuvem a to u obou řezných rychlostí, přičemž u některých destiček při rychlosti v_{c2} nastává snížení rázů již při hodnotě posuvu $f=0,25\text{mm}$, což při rychlosti v_{c1} ještě neregistrujeme. Jako zajímavé se ovšem jeví nárůst počtu rázů při rychlosti v_{c2} a to v závislosti na zvětšujícím se posuvu u destičky typu A65. Nárůst počtu rázů je způsoben vlastnostmi dané VBD, jenž je určena ke hrubování tvrdších materiálů. Tato výjimka tedy potvrzuje pravidlo, že ne vždy musí počet rázů klesat s růstem hodnoty posuvu ale záleží na typu destičky a na tom, k jaké operaci je určena. Při celkovém zhodnocení všech druhů destiček se jako nejvýkonnější typ jeví destička KS6000, které má největší lomovou houževnatost a ohybovou pevnost ze všech testovaných destiček. O něco méně vydržela destička typu PT600M. Oba tyto druhy dosahují kritické hodnoty rázů v nejvíce případech. Oproti tomu jako méně odolné se jeví typ A66N a A65.

Jednotlivé použité destičky můžeme vidět na mikroskopických snímcích v tabulkách 5.3, 5.6, 5.9 a 5.12, z kterých je zřejmé, že nejvíc poškozen byl typ A65.

Pro vyvozování přesnějších závěrů, je nutno pokračovat v dalších testech a to pro různé obráběné materiály, za jiných řezných podmínek, hloubkách řezů a posuvech. Možností by bylo provést testy také na jiných zařízeních s pomocí různých přípravků, které přerušovaný řez simulují. Musíme ovšem přihlédnout k časové a materiálové náročnosti těchto zkoušek.

Použitá literatura

- [1] HLUCHÝ, Miroslav; HANĚK, Václav. *Strojírenská technologie 2-2.díl.* Praha : Scientia, spol s.r.o, 1998. 176 s. ISBN 80-7183-127-1
- [2] KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění.* VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0
- [3] BEŇO, Josef. *Teória řezania kovov.* TU Košice, Fakulta Strojnícka , 1999, 255 s. ISBN 80-7099-429-0
- [4] FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje.* VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9
- [5] MÁDL, Jan; KAFKA, Jindřich; VRABEC, Martin; DVOŘÁK, Rudolf. *Technologie obrábění -1..díl.* ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2000, 79 s. ISBN 80-01-02091-6
- [6] REINER, Jan. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu-diplomová práce.* Ostrava: FS VŠB-TUO, 2009, 73 s.
- [7] JAŠŠ, Pavel. *Zkoušky odolnosti vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů při přerušovaném řezu -diplomová práce.* Ostrava: FS VŠB-TUO, 2009, 108 s.
- [8] HOUDEK, Josef; KOUŘIL, Karel. *Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům.* MM Průmyslové spektrum. 2004/6. Dostupné na [www: URL:<http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum>](http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum)
- [9] HUMÁR, Antonín. *Slinuté karbidy a řezná keramika.* Brno: CCB Brno, 1995, 460 s. ISBN 04-246-86
- [10] HUMÁR, Antonín. *Materiály pro řezné nástroje.* Brno: MM Publishing Praha, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [11] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu-disertační práce.* Ostrava: VŠB-TUO, FS, 2005. 101 s.
- [12] MRKVA, Petr. *Sledování počtu rázů při obrábění materiálu 12050 řeznou keramikou během přerušovaného řezu a jejich závislost na řezných parametrech-diplomová práce.* Ostrava: FS VŠB-TUO, 2007, 59 s.
- [13] MRKVICA, M.; BILÍK, O.; SIKORA, R. *Spolehlivost a diagnostika nástrojových materiálů v podmínkách přerušovaného řezu. Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu GAČR č. 101/93/0129 za rok 1993-1995.* Ostrava: FS VŠB-TUO, 1995, 34 s.
- [14] KYOCERA Corporate. *General Catalog[online].c 2010.* Dostupné na [www: URL:< http://americas.kyocera.com/kicc/cuttingtools/catalog.html>](http://americas.kyocera.com/kicc/cuttingtools/catalog.html)

Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1.1- Závislost tvrdosti na teplotě vybraných druhů řezných keramik	7-
Tabulka 1.1- Vlastnosti vybraných druhů řezné keramiky	8-
Obrázek 2.1- Amplitudy složky řezné síly.....	10-
Obrázek 2.2- Vliv napětí na břit nástroje.....	11-
Obrázek 2.3- Průběh teploty při plynulém a přerušovaném řezání.....	14-
Obrázek 2.4- Hlavní složka řezné síly v závislosti na čase a úhlu záběru.....	15-
Obrázek 3.1- Schéma simulátoru se vsazenými lištami pro lištový test.....	16-
Obrázek 3.2- Simulátor přerušovaného řezu před soustružením.....	17-
Obrázek 3.3- Schéma přípravku pro soustružení s dvěma podélnými drážkami.....	18-
Obrázek 3.4- Schéma přípravku pro čepový test.....	19-
Obrázek 4.1- Použitý soustruh s upnutým simulátorem.....	20-
Tabulka 4.1- Chemické složení oceli 15 128 (13MoCrV6) v %.....	21-
Tabulka 4.2- Mechanické vlastnosti oceli 15 128 (13MoCrV6).....	21-
Obrázek 4.1- Použité testované VBD.....	21-
Tabulka 4.3- Vlastnosti VBD KYOCERA.....	22-
Tabulka 4.4- Použití VBD KYOCERA.....	22-
Tabulka 4.5- Použité řezné parametry.....	23-
Tabulka 4.6- Hodnoty kritických délek odpovídající $R=6000$	23-
Obrázek 4.2- Testování nástrojů.....	24-
Obrázek 4.3- Mikroskop Intracomicro	24-
Tabulka 5.1- Tabulka hodnot pro VBD KS6000 při v_{c1}	25-
Tabulka 5.2- Tabulka hodnot pro VBD KS6000 při v_{c2}	25-
Tabulka 5.3- Mikroskopické snímky opotřebení pro VBD KS6000.....	25-
Graf 5.1- Závislost počtu rázů na řezné rychlosti pro typ KS6000.....	26-
Graf 5.2- Závislost počtu rázů na posuvu pro typ KS6000.....	27-
Tabulka 5.4- Tabulka hodnot pro VBD PT600M při v_{c1}	27-
Tabulka 5.3- Tabulka hodnot pro VBD PT600M při v_{c2}	27-
Tabulka 5.6- Mikroskopické snímky pro VBD PT600M.....	28-
Graf 5.3- Závislost počtu rázů na řezné rychlosti pro typ PT600M.....	29-
Graf 5.4- Závislost počtu rázů na posuvu pro typ PT600M.....	29-
Tabulka 5.7- Tabulka hodnot pro VBD A66N při v_{c1}	30-

Tabulka 5.8- Tabulka hodnot pro VBD A66N při v_{c2}	-30-
Tabulka 5.9- Mikroskopické snímky pro VBD A66N.....	-30-
Graf 5.5- Závislost počtu rázů na řezné rychlosti pro typ A66N.....	-31-
Graf 5.6- Závislost počtu rázů na posuvu pro typ A66N.....	-32-
Tabulka 5.10- Tabulka hodnot pro VBD A65 při v_{c1}	-32-
Tabulka 5.11- Tabulka hodnot pro VBD A65 při v_{c2}	-33-
Tabulka 5.12- Mikroskopické snímky pro VBD A65.....	-33-
Graf 5.7- Závislost počtu rázů na řezné rychlosti pro typ A65.....	-34-
Graf 5.8- Závislost počtu rázů na posuvu pro typ A65.....	-34-
Graf 5.9- Porovnání jednotlivých VBD pro v_{c1}	-35-
Graf 5.10- Porovnání jednotlivých VBD pro v_{c2}	-35-